

В. В. Касинский, Л.И. Касинская**

ВАРИАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ВСПЫШЕК СОЛНЦА – СВЯЗЬ С ФОТОСФЕРНОЙ, ХРОМОСФЕРНОЙ И МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ (1972–2001 гг.)

1. ДАННЫЕ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках формализма степенного спектра вспышек [4] были получены интересные результаты по активности солнечного типа звезд главной последовательности (типа UV-Кита) [5]. Аналогичные результаты были получены для вспышек мягкого рентгена на Солнце [6]. В ранних работах поток F (эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$) в максимуме рентгеновского излучения вспышки в диапазоне 1–8 Å интегрировался по времени начала t_0 и конца вспышки – t_e . Далее полный поток энергии вспышек F (эрг см^{-2}) интегрировался по всей полусфере $2\pi R^2$, где $R = 1$ а. е. расстояние Солнце-Земля, согласно методике [11]. В результате получалась энергия отдельной вспышки E (эрг).

В данной работе была принята более рафинированная методика оценки E с учетом различия фазы роста и спада кривой вспышки $F(t)$. Особенность кривой потока состоит в резком возрастании F от начала t_0 до максимума t_{\max} и экспоненциального спада F от t_{\max} до t_{end} . Принимая первую часть интегрирования $F(t)$ по формуле «треугольника», а вторую часть – по экспоненте, получим следующую эмпирическую формулу для оценки энергий отдельных вспышек [12]:

$$E = F_{\max} \times \{4,22 \times 10^{28} (t_{\max} - t_0) + 2,53 \times 10^{28} (t_{\text{end}} - t_{\max})\}, \text{ эрг} \quad (1)$$

Таким образом, мы имеем четырех параметрическую формулу, где F выражено в единицах эрг $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ [14], t – в секундах (ин-

тегрирование по полусфере учтено в коэффициентах в (1)). Полученные энергии укладываются в диапазон 10^{24} – 10^{31} эрг, что не превышает энергий оптических вспышек. Далее строилось распределение накопленного числа вспышек за год $N(E_m)$ с энергиями $E > E_m$, которое было аппроксимировано степенной функцией вида:

$$N(E_m) = \int n(E) dE \sim C E^{-b}.$$

В двойных логарифмических координатах ($\lg E$, $\lg N$) в области средних и высоких энергий спектра соблюдается линейная зависимость вида:

$$\lg E = \lg E_m - (1/b) * \lg N. \quad (2)$$

Как видно из (2), при росте N энергии вспышек падают логарифмически, что физически соответствует переходу к микровспышкам. Например, при уровне $E = 10^{25}$ эрг можно оценить число микровспышек $\lg N_{25}$ по отрезку горизонтальной оси (рис.1). Наоборот, имеется одна вспышка в году, с «предельной энергией», что соответствует $\lg E_m$. Максимальная предельная энергия вспышки есть теоретически ожидаемая по линейной аппроксимации (2). Таким образом, линейный спектр характеризуется тремя эмпирическими параметрами: b , $\lg E_m$ и $\lg N_{25}$, из которых только два являются независимыми.

Пример реального спектра и его линейной аппроксимации показан на рис.1. Для реального спектра характерен «завал» в области малых энергий $\sim 10^{25}$ эрг и «насыщение» в области больших энергий. Как очевидно, для звездных вспышек [4,5], первое связано с чувствительностью регистрирующей аппаратуры. Аналогичное объяснение может иметь место и для самых слабых солнечных вспышек, хотя это не очевидно.

Принципиальным подходом при расчете показателя степени « b » является вопрос – учитывать или не учитывать особенности спектра – «завал» в области малых энергий. Если отбросить «завал», оставив среднюю часть спектра, то она будет наиболее близка к «линейной». Но в этом случае теряется до 20 % вспышек в обла-

*ИрГУПС, Иркутск, 664074, Чернышевского, 15

ти малых энергий и укорачивается «динамический диапазон» энергий спектра. Такое искусственное «обрезание» спектра приводит к неоправданной селекции. При втором подходе линейная аппроксимация строится по всей 100% - ой выборке, а отклонения реального спектра от «линейного» учитываются во «втором» приближении. Мы считаем математически корректным и физически правильным второй метод. Математическое оправдание состоит в том, что уровень достоверности линейной аппроксимации реальных спектров, включая «завал», составил 0,92–0,98, то есть достаточно высок (см. табл.1).

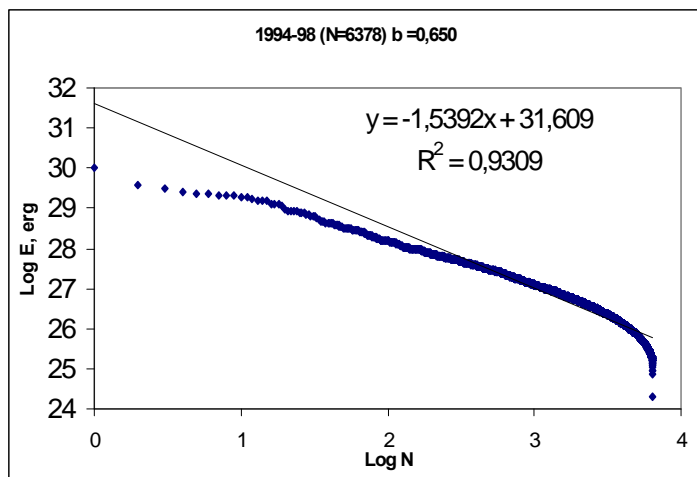


Рис.1. Типичный ИЭС вспышек за 1994–98 гг. (6378 вспышек). По оси X – логарифм числа вспышек, по Y – логарифм энергии. Виден «завал» при малых энергиях и «насыщение» при больших. Уровень достоверности аппроксимации 0,93.

Физическое оправдание состоит в том, что уровень максимальных энергий и число слабых вспышек играют важную роль, как в моделях вспышек [8], так и в теории нагрева корон [1, 5], и «обрезание» спектра в области малых энергий не оправдано с физической точки зрения.

Таблица 1

Параметры интегрального энергетического спектра
X- вспышек Солнца

Year	Log Em	Log N ₂₅	N/год	W	R ²
1972	31,0	4,22	2723	69	
1973	30,38	3,20	1784	38	
1974	31,35	3,22	321	34	
1975	28,56	3,3	250	15	
1976	29,7	3,44	153	12	
1977	30,3	3,24	268	27	0,95
1978	31,6	4,24	1134	92	0,96
1979	31,6	4,28	1469	155	0,93
1980	31,6	4,6	2463	155	0,95
1981	31,9	4,84	4005	140	0,92
1982	32,3	4,64	3852	116	0,96
1983	31,8	4,36	2583	67	0,93
1984	31,8	3,95	2176	46	0,88
1985	30,1	3,45	1065	18	0,97
1986	30,3	3,39	916	13	0,98
1987	30,4	3,96	1389	29	0,92
1988	31,6	4,24	2367	100	0,93
1989	32,5	4,56	2610	158	0,95
1990	31,5	4,68	2630	142	0,93
1991	32,2	4,08	3324	145	0,96
1992	31,6	4,4	2816	90	0,93
1993	31,1	4,04	2429	56	0,92
1994	30,3	3,63	1612	22	0,94
1995	29,2	3,45	1124	16	0,96
1996	29,2	3,03	510	9	0,97
1997	30,4	3,57	1138	22	0,93
1998	31,1	4,32	2244	62	0,95
1999	30,9	4,52	2421	95	0,93
2000	30,9	4,76	2260	130	0,94
2001	31,4	4,6	2703	134	0,93
	mean	Mean	Sum		
	31,0	4,01	56500		

2. КОРРЕЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЭС С ЧИСЛАМИ ВОЛЬФА

Линейный спектр характеризуется тремя параметрами: b , $\lg E_m$ и $\lg N_{25}$. Параметры b и $\lg E_m$ плохо коррелированы друг с другом (0,37). Отдельно каждый из них умеренно коррелирует с числом Вольфа (W), выявляя заметную 11-летнюю модуляцию на уровне коэффициента корреляции r ; вторая цифра есть r со сдвигом +11 лет, $r(b, W) = 0,51-0,48$ и $r(\lg E_m, W) = 0,80-0,72$.

Поэтому в качестве двух независимых параметров степенного спектра вспышек лучше выбрать два других – $\lg E_m$ и $\lg N_{25}$. Оба они имеют прозрачный физический смысл, а последний определяет число микро вспышек – по уровню энергии 10^{25} эрг. Их произведение

$$\text{Int} = \frac{1}{2} (\lg E_m \times \lg N_{25}) \quad (3)$$

имеет простую физическую интерпретацию – это есть площадь под прямой (2). Одновременно величина Int характеризует «мощность» энергетического спектра.

Таким образом, эта величина характеризует мощность степенного спектра в двойном логарифмическом масштабе « $\lg E_m - \lg N_{25}$ ». Необходимость ввода такого интеграла диктуется тем соображением, что при одинаковом b (наклоне спектра), прямая (2) может проходить «выше» или «ниже» некоторого среднего уровня, то есть пульсировать. Следовательно, динамика пульсаций величины $\text{Int}(t)$ за 30 лет может представить самостоятельный интерес для проблемы вспышек.

В табл.1 приведены расчетные параметры ИЭС вспышек за 1972–2001 гг., (56500 вспышек). В столбцах таблицы даны: 1 – год, 2 – логарифм предельной $Lg E_m$, 3 – логарифм числа вспышек с энергиями 10^{25} эрг, 4 – число вспышек N за год, 5 – число Вольфа(W), 6 – достоверность линейной аппроксимации спектра R^2 . Здесь R – коэффициент корреляции прямой (2) с реальным спектром.

Кроме трех параметров, характеризующих чисто линейный спектр, $\lg E_m$, $\lg N_{25}$, b , для характеристики отклонений ИЭС от линейности мы ввели следующие дополнительные параметры, ха-

рактеризующие отклонение от линейности. Разность между предельной теоретической и фактической максимальной энергии вспышки есть $\Delta \lg E = \lg E_m - \lg E_{m0} > 0$. Её определяет «глубина провала» или «дефицит» энергии в области предельных энергий.

Так как провал начинается в области средних энергий, можно оценить площадь провала между прямой и фактической кривой спектра как ΔInt . Величина ΔInt характеризует поправку «дефицита» энергий в области больших вспышек. Вычитая из Int величину ΔInt , получим исправленный интеграл $\text{Int}' = \text{Int} - \Delta \text{Int}$. Сводная таблица перекрестных корреляций указанных шести параметров с числами Вольфа (W) и числом вспышек в статистике (N) дана в таблице 2. Коэффициент корреляции строился на скользящем интервале 11 лет, поскольку нас интересует в основном 11 –летняя вариация.

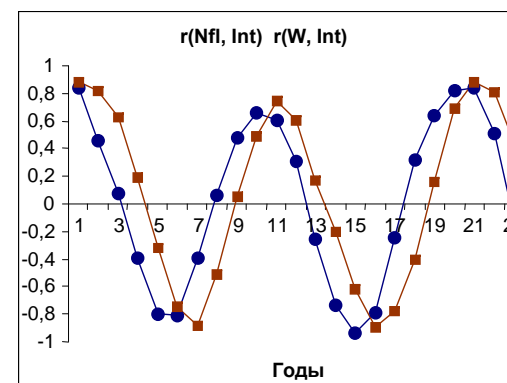


Рис.2. Корреляция числа вспышек (кружки) и числа Вольфа (квадраты) с мощностью энергетического спектра вспышек Int по (3). По горизонтали – лаг корреляции в годах

Выраженная 11-летняя модуляция параметра ИЭС ($\lg E_m * \lg N_{25}$) иллюстрируется на рис.2, где показана кросс-корреляция числа вспышек N_n и числа Вольфа (W) с интегралом (3). Интересно, что на рис.2 намечается и 22-летняя корреляция, что свидетельствует в пользу реальности четко выраженной 11-летней модуляции. В табл.2 приведены величины коэффициентов корреляции со сдвигом

0, +1 год и + 11 лет. Параметры ранжированы по мере уменьшения корреляций.

Обращают на себя внимание две особенности данной корреляционной таблицы. Первое: довольно высокие коэффициенты корреляции всех параметров ИЭС (0,94–0,68) с числом Вольфа (W) на сдвиге +11 лет. Особенно он высок для скорректированного интеграла; $r(11) = 0,94 \pm 0,04$.

Таблица 2

Корреляции параметров ИЭС вспышек с W и N – числом вспышек

1	2	3	4	6	5	7	8	9
	N	Int	lg N ₂₅	Int'	LgE _m	ΔlgE _m	b	
W(0)	0,70	0,88	0,87	0,87	0,80	0,76	0,30	0,53
W(1)	0,92	0,82	0,83	0,73	0,63	0,59	0,51±0,24	0,72
W(11)	0,79	0,75	0,60	0,94	0,73	0,56	0,48	0,56
N(0)	1	0,84	0,84		0,66	0,68	0,56	0,69
N(1)	1	0,46	0,45		0,43	0,43	0,41	
N(11)	1	0,61	0,59		0,57	0,43	0,45	0,30

Исключение составляет показатель степени «b» (столбец 8), который имеет умеренную корреляцию с W(11) около $0,48 \pm 0,24$. Отметим, что корреляция скорректированного интеграла Int' с числом Вольфа (W) в два раза больше соответствующего коэффициента корреляции W и b на лаге +11 лет. Отсюда можно сделать вывод, что логарифмический интеграл (2), или мощность ИЭС является физически более значимым параметром, чем показатель степени ИЭС «b» [3–5]. Следует отметить, что корреляции несколько возрастают, если сгладить b по трем точкам, $r(, W) = 0,72$ (столбец 9).

Интересно отметить, что число вспышек (N) также показывает ход корреляций с параметрами ИЭС, аналогичный корреляциям с W. Это естественно, так как на большом отрезке времени (1 год), число Вольфа хорошо коррелирует с числом вспышек [2] (столбец 2).

Вторая особенность корреляционной таблицы (табл.2) – максимум корреляции на сдвиге +1 год относительно числа Вольфа, который имеет место как для числа вспышек N, так и показателя

спектра «b». Этот факт составляет некоторую проблему и нуждается в дальнейшем исследовании. Он отмечен и для звездных вспышек как отставание на 1–3 года вариаций яркости и температуры от соответствующих магнитных вариаций на некоторых нормальных карликах [10].

3. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ИЭС С ИНДЕКСАМИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Пока мы рассматривали связь параметров ИЭС в основном с числом Вольфа, который характеризует пятнообразовательную активность и 11-летнюю цикличность Солнца. Число вспышек (N, табл.1) характеризует лишь выборку и не отражает фактическое число вспышек за год. Например, полное число вспышек за 1981 г. составило по данным (SGD N 537, ПИ) 9218, при статистике вспышек 4005 (столбец 4, табл.1).

Другие индексы солнечной активности так или иначе связаны с индексами пятен – числами Вольфа. Так, Вальдмайер нашел тесную линейную связь между суммарной площадью пятен A и W в виде: $A = 16,7 W$. Коэффициенты корреляций для циклов 12–19 составляют $0,65–0,97$ [2].

Одним из общепринятых индексов солнечной активности, который отличается тесной связью с числом Вольфа, является плотность радиоизлучения Солнца на частоте 2800 МГц (длина волны 10,7 см) или F10,7. Этот индекс уже более чем в течение 45 лет надежно определяется в Оттаве (в единицах 10^{-22} Вт м⁻² Гц⁻¹) и отличается исключительной связью с числами Вольфа на уровне корреляции $+0,76–0,99$ (годовые) [2].

По данным Solar Geophysical Data были взяты годовые ряды потока радиоизлучения на волне 10,7 см, число активных областей N(AO) и число оптических вспышек N с 1972 по 2001 гг. Их можно рассматривать как соответствующие – корональный, фотосферный и хромосферный индексы солнечной активности. Была проведена корреляция этих индексов с показателем спектра b. Скользящая 11-летняя корреляция трех индексов с показателем спектра «b» аналогична картине, приведенной на рис.2. Выявлена выраженная 11-

летняя модуляция параметра «b» и максимум корреляции b (~ 0,66–0,55), приходящийся на сдвиг +1 год относительно индексов F10,7 см, N_{AO} и N .

Таким образом, с временным разрешением 1 год между тремя индексами F10,7; $N(AO)$ и N нет видимой временной разности фаз. Они ведут себя синхронно в отношении показателя «b». Поэтому индексы F10,7, число AO и число оптических вспышек N могут быть названы «вольфоподобными», какими они вероятно и являются, несмотря на физические различия между ними. Одновременно подтверждается факт запаздывания по фазе на 1 год показателя степени b , относительно всех трех индексов, ранее полученный только по числу Вольфа [6, 12].

Отдельно от рассмотренных индексов стоит индекс S_C – солнечная постоянная. Изменения S_C в оптической и ближней инфракрасной области составляют величину порядка 0,1% от среднего излучения. Надежное определение вариаций солнечной постоянной на протяжении двух последних 11-летних циклов активности позволяет использовать S_C как чисто фотосферный индекс, в противоположность известным индексам W и F10,7 см, характеризующих магнитную активность (US Depart.of Commers, NOAA, SEC).

Естественно поставить вопрос – коррелирует ли мощность спектра с солнечной постоянной? С точки зрения современных моделей вспышек ответ должен быть отрицательным, поскольку оба индекса несут совершенно противоположную физическую природу.

На рис.3 приведен скользящий коэффициент корреляции S_C и мощности ИЭС по (3) – квартальные данные. Кажется удивительным тот факт, что индекс S_C положительно коррелирует с мощностью по (3), причем хорошо выражена 11-летняя «волна» модуляция, $r = 0,79$. Максимум корреляции ИЭС запаздывает на 1 год относительно солнечной постоянной ($r = 0,40$). Корреляция « S_C –Int» повторяет в общих чертах корреляцию « W – N_n » – имеется четко выраженный фазовый сдвиг в начале. Он не носит характер максимума, а имеет вид «плато».

Как показал соответствующий кросс-корреляционный график, положительная связь индекса S_C и b на сдвиге +1 год весьма мала, $r(+1) = +0,35$, а корреляция на сдвиге +11 лет практически отсутст-

вует, $r(+11) = -0,20$. Таким образом, фотосферный S_C -индекс как характеристика поля грануляции, в отношении показателя b интегрального спектра является антиподом числа Вольфа (W) и подобных ему индексов.

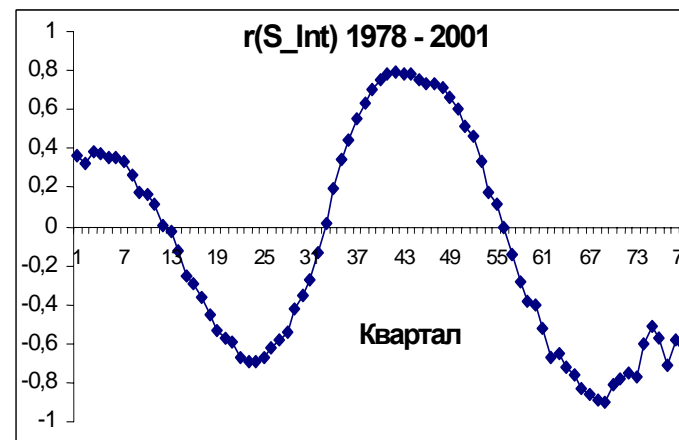


Рис.3. Корреляция солнечной постоянной (S_C) и «мощности» Int – квартальные данные. Видно «плато» в начале, $r = 0,40$. Хорошо виден максимум (точка 44), $r = 0,79$, соответствующий 11-летнему циклу. По горизонтали лаг в единицах 0,25 года.

В последнее время появились еще более специфические индексы, в число которых входит индекс NOAA Mg II (US Depart.of Commers., NOAA, SEC). Индекс Mg II дает отношение интенсивностей «центр – крыло» h и k линий Mg II (280 нм) к подложкам в точках 278 и 282 нм. Линии h и k представляют собой переменную эмиссию хромосферы. Таким образом, индекс Mg II представляет собой меру хромосферной активности, её ультрафиолетовой эмиссии.

На рис.4 приведен скользящий коэффициент корреляции индекса Mg II и мощности ИЭС по (3) по квартальным данным. Как видно, индекс Mg II положительно коррелирует с мощностью спектра, причем хорошо выражена почти синусоидальная 11-летняя модуляция, $r = 0,84$ (в окрестности точки 42). Максимум корреляции

ИЭС на малых интервалах (1 год) синхронизован с индексом Mg II и не показывает явного запаздывания.

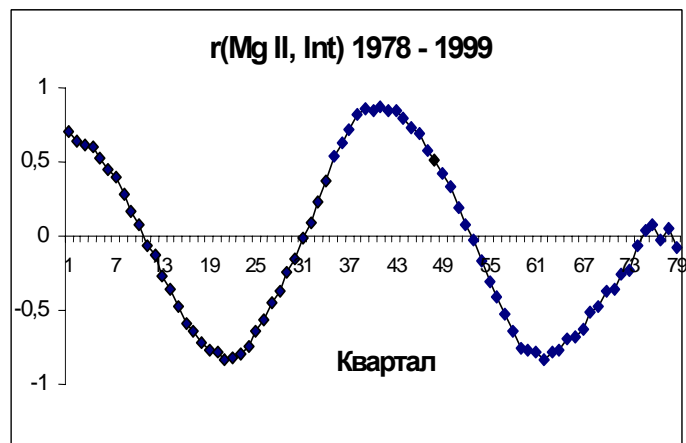


Рис.4. Корреляция индекса NOAA Mg II и «интеграла» по (3) – квартальные данные. Хорошо выражена 11-летняя модуляция, $r = 0,84$ в окрестности точек 42–43.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Из первых работ [6,11] следовало, что показатель степени « b » варьирует с фазой цикла, то есть изменяется с числом Вольфа (W). Средний за 30 лет (табл.1) показатель степенного спектра рентгеновских вспышек ($b=0,666\pm 0,005$). Общая энергия малых вспышек по порядку величины близка к хромосферной и корональной светимости [1]. Это является исходным аргументом гипотезы о нагреве корон многочисленными микро-вспышками [5]. Для оценки возможного вклада слабых вспышек в суммарное излучение вспышек можно воспользоваться формулой (2), положив в ней $\lg E = 25$. Предельное число микро-вспышек, наблюдаемых на данный год в $\lg N_{25}$, приведено в 3-ем столбце табл.1. Как видно, оно также показывает заметную корреляцию с числом Вольфа – растет в максимум

ме и спадает к минимуму цикла. Коэффициент корреляции $r(\lg N_{25}, W) = 0,84$. Поскольку все эти корреляции имеют выраженную 11-летнюю модуляцию, то и нагрев короны микро-вспышками (индекс F10,7) также должен иметь существенную 11-летнюю составляющую, что фактически наблюдается.

Гораздо более важным для моделей вспышечного процесса могут быть обнаруженные запаздывания параметров степенного спектра от индекса пятен – числа Вольфа на интервал порядка 1 года. Запаздывание (лаг +1 год) обнаружено не только в показателе степенного спектра b и среднего $\langle b \rangle$, но также в числе вспышек N относительно чисел Вольфа W (табл.2).

Самое удивительное, что максимум корреляции интеграла спектра также запаздывает на ~ 1 год относительно солнечной постоянной S_c ($r=0,40$). Корреляция « S_c –Int» повторяет в общих чертах корреляцию «MgII–Int» и имеет слабо выраженный фазовый сдвиг в начале. Как показала проверка, связь (S_c – W) также имеет четкую 11-летнюю модуляцию. Напрашивается неочевидный вывод, что вспышечный процесс и грануляция (солнечная постоянная) физически обусловлены числом Вольфа на интервале 11 лет.

Следовательно, реализация магнитной энергии происходит не «мгновенно», как того требуют «магнитные» модели вспышек, а с запаздыванием ~ 1 год относительно групп-пятен, что может означать наличие третьего промежуточного процесса, связанного с накоплением энергии вне пятен.

В этом плане заслуживают внимания два факта, полученные при наблюдении вспышек по программе патруля звёзд типа EV Lac [9]. Это обнаружение температурного плато – области с малым вертикальным градиентом температуры, как в спокойной хромосфере, так и для вспышек звезды; и перманентно существующие на звезде микро-вспышки. Первый факт легко связать с температурным волноводом для внутренних гравитационных волн в солнечной хромосфере, а второй – свидетельствует о существовании некоторого «волнового фона», генерирующего микро-вспышки и в отсутствие зон «запятненности» [1,10].

Таким образом, напрашивается следующая модель звездной вспышечной активности. Пятненная активность дает начало разви

тию некоторого процесса в хромосфере, реализующего энергетический спектр вспышек. Процесс, реализующий спектр, может быть описан в рамках модели волнового процесса (колебаний) в хромосфере как целого [13]. Волновой процесс, в свою очередь, определяет частоту генерации микро-вспышек с периодом модуляции цикла. Наряду с волнами малой амплитуды, ответственными за микро-вспышки, должны присутствовать макро-волны большого масштаба типа «цунами» [13], дающие большие вспышки. Возможность образования, распространения и всплытия МГД-солитонов – уединенных слабозатухающих волновых импульсов в плазме как возможных носителей энергии солнечных вспышек обоснована в [8]. Известная «солитонная» гипотеза вспышек, как альтернатива общепринятой модели, дает возможность объяснить, по крайней мере, мощные вспышки на звездах типа UV-Kита [3].

Исследование степенного энергетического спектра рентгеновских вспышек в сопоставлении с различными индексами солнечной активности – фотосферными, хромосферными, коро-нальными и магнитными приводит к ряду интересных выводов.

1. Вариации с фазой 11-летнего цикла, показывает не только показатель степени « ν ». Имеется сильная 11-летняя модуляция таких параметров, как предельная энергия вспышки ($\lg E_m$), число микро-вспышек ($\lg N_{25}$) и параметра ($\lg E_m * \lg N_{25}$), который характеризует мощность степенного спектра в двойном логарифмическом масштабе. Сильная 11-летняя модуляции мощности степенного спектра показывает, что интегральный спектр «пульсирует» как целое с фазой 11-летнего солнечного цикла.

2. Солнечная постоянная S_C как характеристика грануляции, с показателем ν интегрального спектра коррелирует плохо ($r=0,2-0,3$), то есть является антиподом числа Вольфа (W). Однако, солнечная постоянная показывает значимую ($\sim 0,80$) кросс-корреляцию с параметром мощности ИЭС на лаге 11 лет. Напрашивается парадоксальный вывод, что в масштабе 11-летнего цикла динамика индекса «спокойного Солнца» (S_C) проявляется в динамике индекса «мощности» рентгеновских вспышек (их числа и энергии), что является чисто корональным явлением.

3. Реализация степенного спектра происходит не «мгновенно», а с некоторым запаздыванием. Такое запаздывание относительно индекса пятен – числа Вольфа (+1 год) обнаружено в показателе степенного спектра ν , в числе вспышек N а также в солнечной постоянной S_C ($r=0,40$). Таким образом, реализация магнитной энергии (индекс W) происходит не «мгновенно», как это следует из «магнитной» модели вспышек, а требует значительного времени накопления (1 год). Это может означать наличие третьего, предположительно волнового процесса, проявлением которого может быть известная «солитонная» модель вспышек [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев И.Ю., Гершберг Р.Е., Кацова М.М., Лифшиц М.А. О дефиците излучения звездных пятен // *Астрономический журнал*. 2001. Т.78. N 6. С. 558 – 674.
2. Витинский Ю. И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М: Наука. 1986. С. 296.
3. Гершберг Р.Е., Могилевский Э.И., Обридо В.Н. Энергетика активности вспыхивающих звезд: синергетический подход // *Кинематика и физика небесных тел*. 1987. Киев. т. 5. С.3.
4. Гершберг Р. Е. Вспыхивающие красные карликовые звезды // *Успехи Физических Наук*. 1998. т. 168, N 8, С. 891 –898.
5. Гершберг Р. Е. Активность солнечного типа звезд главной последовательности // *Одесса, «Астропринт», 2002. С. 687.*
6. Касинский В. В., Сотникова Р.Т. Вариации энергетического спектра и временной шкалы рентгеновских вспышек в 11-летнем цикле солнечной активности (No. 21). Исследования по геомагнетизму, аэронамии и физике Солнца. М.: Наука. 1989. вып. 87, С. 43 – 55.
7. Касинский В. В. Энергетический спектр рентгеновских вспышек на Солнце в трех циклах активности (1972 – 2000 гг.) // *Солнечная активность и её влияние на Землю*. Владивосток. Дальнаука, 2003. С.79 – 88. (Тр. УАФО; Т.7, вып.7).
8. Могилевский Э. И. Фракталы на Солнце. М.: Физматлит.2001. С. 150.
9. Alekseev I. Yu., Gershberg R. E. The activity of the red dwarf stars EV Lac.// *The Earth and Universe*. Aristotel Univ. Thessaloniki. Ziti Ed.,1997. P. 43-57.
10. Gray D.F., Baliunas S.L. et all. Magnetic, photometric, temperature, and granular variations of ξ Bootis A, 1984 –1993 // *The Astrophysical Journal*.1966. N465. pp.945-950.
11. Kasinsky V.V., Sotnicova R.T. Variation the solar flare energy spectrum over the 11 –year activity cycle // *Solar and stellar flares U.A.I. Colloq.* No.104, 15–19 Aug.

1988, Stanf. Univ., Calif., USA: POSTER PAPERS, ed. B. M. Haisch and M. Rodono, Special publication. 1989, P. 255 - 258.

12. *Kasinsky V.V., Sotnicova R.T.* Integral energy spectra of solar soft X-ray flares in the three solar activity cycles (1972-2001) // *Astronomical and Astrophysical Transactions*, Vol. 22, No.3, June 2003, pp.325–333.

13. *Kasinsky V.V., Krat V.V.* On the solar tsunamy // *Solar Physics*.1973.V.31.p.219-228.

14. PRAF of Solar Geophysical Data, (1972 –2001). *NOAA-USAF Space Envir. Center, Boulder, Colo., US Depart. of Commerce.*

Ю.А. Комаровский

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ СКОРОСТИ СУДОВЫМ ПРИЁМНИКОМ NAVSTAR GPS

Современные навигационные технологии, создаваемые на базе спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Navstar GPS, главным образом используют обсервованные координаты. Кроме координат приёмник СРНС Navstar GPS способен измерять вектор абсолютного перемещения транспортного средства, а также с высокой точностью моменты времени и интервалы времени. В последние годы стали развиваться технологии, базирующиеся на принципе управления подвижным объектом по вектору абсолютной скорости. Такое направление более перспективно по сравнению с управлением по координатам. Например, в судовождении такой подход позволяет избавиться от необходимости получения информации от компаса. С развитием и внедрением микропроцессорной техники промышленность стала поставлять на рынок разнообразные датчики абсолютной скорости, работающие автономно по сигналам спутников СРНС Navstar GPS. К их числу относятся судовые приёмники этой навигационной системы. Широкое применение приёмников системы Navstar GPS в качестве измерителя абсолютной скорости судов начинает вытеснять традиционный лаг из существовавшей многие десятилетия технологии судовождения. Тем не менее, есть проблема, сдерживающая признание национальными морскими законодательствами и на уровне Международной Морской Организации приёмника СРНС Navstar GPS в качестве основного измерителя скорости судна. Она кроется прежде всего в неизученности причин возникновения погрешностей.

Источником погрешностей могут быть сами спутники. Так, например, 1 января 2004 года из-за аномальной нестабильности атомного стандарта частоты спутника PRN 23 в период времени с 18^h33^m по 21^h18^m UTC автором на приёмнике Garmin GPS 128 были зарегистри-